

전기자동차용 충전기를 위한 전해커패시터가 없는 단일단 브리지리스 AC-DC 컨버터

김병우, 김민재, 박준성, 최세완
서울과학기술대학교

Single-stage Bridgeless Electrolytic Capacitor-less AC-DC Converter for EV Charger

Byeongwoo Kim, Minjae Kim, Junsung Park, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차용 충전기를 위한 전해커패시터가 없는 단일단 브리지리스 AC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 넓은 동작영역에서 스위치의 ZVS 턴온 및 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취한다. 또한 시스템 수명에 장애가 되는 전해커패시터를 사용하지 않고, 필름커패시터를 사용함으로써 높은 내구성을 달성할 수 있으며 또한 제안하는 결선 방식으로 변압기에 저주파리플이 상쇄되어 코어부피를 최적화하여 시스템 소형화를 달성할 수 있다. 본 논문에서는 제안하는 컨버터의 동작원리를 제시하고 시뮬레이션을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

일반적으로 전기자동차용 충전기는 역률보상을 위한 부스트 컨버터와 절연형 DC DC 컨버터로 구성된 2단 방식과 한 대의 컨버터로 역률보상, 절연 및 출력전압 제어가 가능한 단일단 방식으로 나눌 수 있다. 두 방식 모두 변압기 및 출력 측에 저주파리플이 발생하기 때문에 용량이 큰 전해커패시터가 사용되는데 이는 시스템 수명 및 내구성에 대한 요구사항을 만족하는데 한계가 있다. 이에 반해 필름 커패시터를 사용할 경우에는 시스템 수명은 증가하지만 저주파리플을 상쇄하지 못하기 때문에 코어부피가 큰 변압기가 필요하게 되어 소형화에 대한 요구사항을 만족 할 수 없다.

본 논문에서는 전해커패시터가 없는 단일단 브리지리스 방식의 AC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 스위치의 ZVS 턴온 및 다이오드의 ZCS 턴오프를 성취하고 기존의 2단 방식, 단일단 방식과 달리 입력 측에 다이오드 브리지가 없어 효율 및 소형화 측면에서 유리하다. 전해커패시터를 사용하지 않아 시스템의 수명 및 내구성이 증가하고 제안하는 결선 방식으로 변압기에 저주파리플이 상쇄되어 코어부피가 감소하여 전체적인 시스템의 소형화를 달성할 수 있다.

2. 제안하는 컨버터

그림 1은 제안하는 단일단 브리지리스 AC DC 컨버터의 회로도를 나타내며 그림 2는 컨버터 동작의 주요파형을 나타낸다.

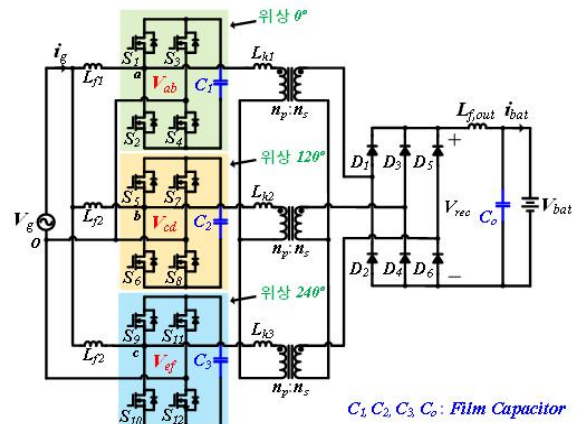


그림 1 제안하는 단일단 브리지리스 AC-DC 컨버터

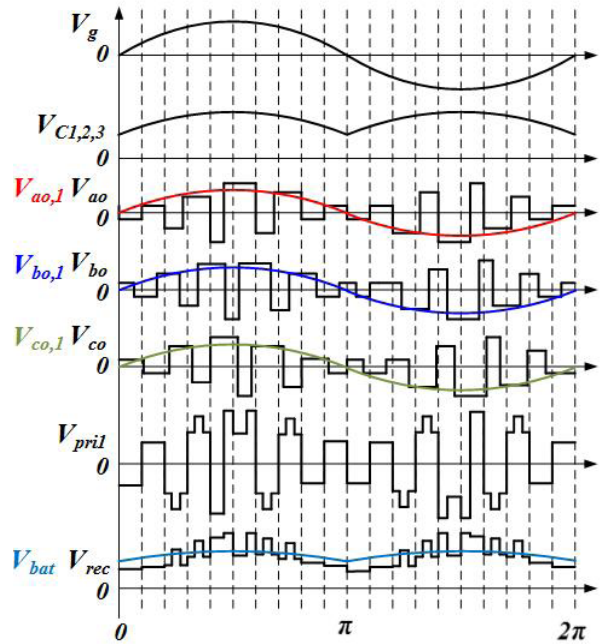


그림 2 제안하는 컨버터의 주요파형

제안하는 토폴로지는 비대칭 상보적인 스위칭방식에 따라 ao, bo, co 전압이 결정되기 때문에 스위칭주기 기준으로 각 전

압에 평균전압이 존재하게 된다. 그에 따라 $V_{ao,1}$, $V_{bo,1}$, $V_{co,1}$ 에 60Hz의 기본파성분이 나타나게 되는데, 제안하는 결선방식에 의해 변압기 전압 V_{pri1} , V_{pri2} , V_{pri3} 에 스위칭주기 기준으로 평균 전압이 0이 되어 저주파리플이 서로 상쇄되고 2차측 회로에 의해 정류된 전압으로 출력전압이 결정된다.

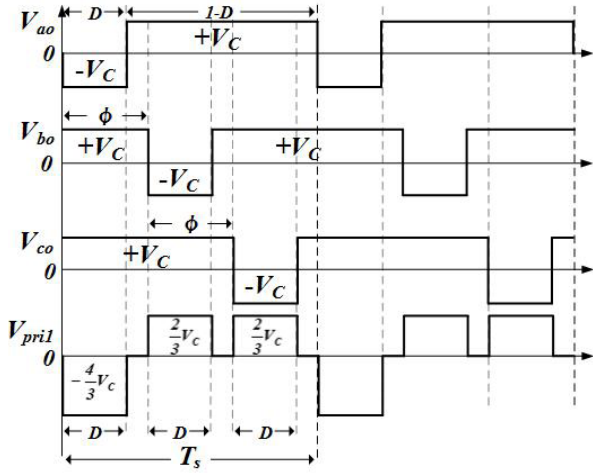


그림 3 저주파 상쇄원리를 나타내는 개념도

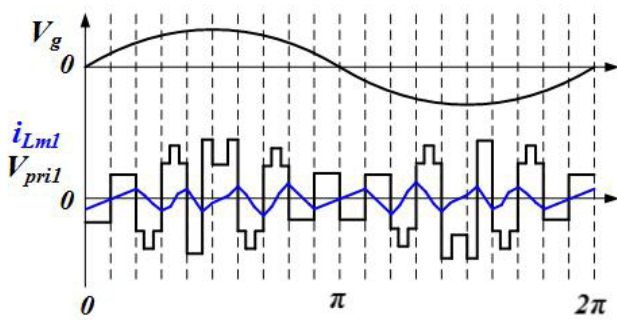


그림 4 결선방식에 따른 변압기 자화전류

그림 3은 제안하는 결선방식에 따른 저주파 상쇄원리를 나타내는 개념도이며, 그림 4는 결선방식에 따른 변압기 자화전류를 나타낸다. 비대칭 상보적인 스위칭방식 때문에 저주파리플이 존재하는 V_{ao} , V_{bo} , V_{co} 이 제안하는 결선방식에 의해서 변압기 1차측 평균전압이 0이 되어 저주파리플이 상쇄된다. 상쇄원리는 각 전압의 관계에 따라서 결정되며 그에 따른 V_{pri1} , V_{pri2} , V_{pri3} 은 아래의 식을 연립하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 V_{pri1} + V_{pri2} + V_{pri3} &= 0 & (1) \\
 V_{pri1} &= V_{an} = V_{ab} - V_{bn} = V_{ao} - V_{bo} - V_{bn} & (2) \\
 V_{pri2} &= V_{bn} = V_{bc} - V_{cn} = V_{bo} - V_{co} - V_{cn} & (3) \\
 V_{pri3} &= V_{cn} = V_{ca} - V_{an} = V_{co} - V_{ao} - V_{an} & (4)
 \end{aligned}$$

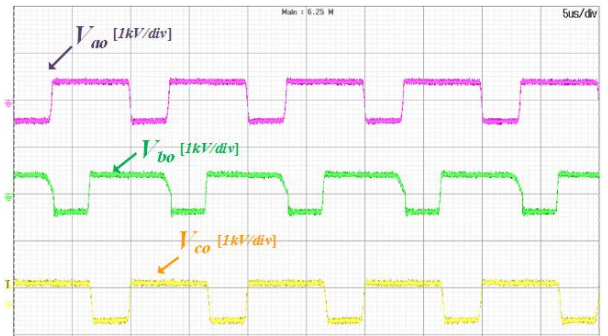
제안하는 결선방식을 적용함으로써 변압기 평균전압이 0이 되어 저주파리플이 상쇄되기 때문에 변압기에 저주파리플이 존재할 때와 달리 자화전류의 최대값 및 변화량이 작게 됨으로써 순환전류 및 스위칭전류 최대전류를 줄여 스위치손실 또한 줄일 수 있으며 변압기가 고주파성분만을 부담하기 때문에 변압기 코어부피를 최적화하여 시스템의 소형화를 성취할 수 있다.

3. 실험 결과

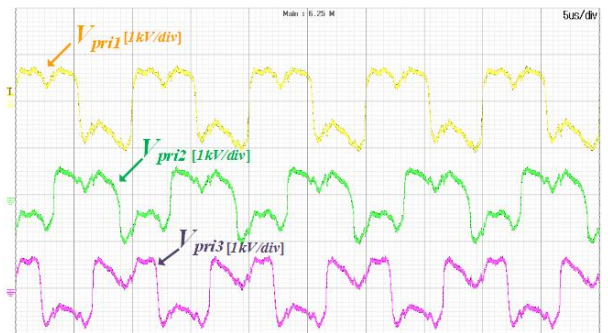
제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음과 같은 설계 사양을 기준으로 실험을 하였다.

- $P_o = 3kW$ • $V_g = 110 \sim 220VAC$ • $V_o = 250 \sim 450V$
- $f_s = 100kHz$ • $PF : 0.97$ 이상

그림 5는 제안하는 컨버터의 실험 파형으로 (a)는 상보적인 스위칭방식에 따른 상전압 V_{ao} , V_{bo} , V_{co} 이다. (b)는 변압기 1차측 전압 V_{pri1} , V_{pri2} , V_{pri3} 이다. 제안하는 결선방식에 의해 변압기 1차측 평균전압이 0이다.



(a) 상전압 V_{ao} , V_{bo} , V_{co}



(b) 변압기 1차측 전압 V_{pri1} , V_{pri2} , V_{pri3}

그림 5 실험 파형

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차용 충전기를 위한 단일단 브리지리스 AC DC 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 넓은 출력 전압 동작범위를 가지며 다이오드 브리지가 없고 소프트스위칭을 성취하여 고효율을 달성할 수 있고, 필름커패시터를 사용하여 좋은 내구성을 만족한다. 또한 제안하는 변압기 결선방식에 의해 변압기에 저주파리플이 상쇄되어 코어부피를 최적화하여 소형화를 달성할 수 있다.

참고 문헌

[1] Cho, J.G.; Baek, J.W.; Yoo, D.W.; Song, D.I.; Rim, G.H.; "Zero voltage transition isolated PWM boost converter for single stage power factor correction," IEEE APEC '97, pp.471-476.